

В. Р. Абалымов^{1,2*}, П. А. Удод¹

¹ФГАОУ ВПО СФУ ИЦМиМ, г. Красноярск, Россия

²ООО «ЛМЗ «СКАД», г. Дивногорск, Россия

*AbalymovVR@yandex.ru

Научный руководитель – проф., д-р хим. наук В. П. Жереб

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЛЕГИРОВАНИЯ МАГНИЕМ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА СПЛАВА АК12

В статье рассмотрено влияние легирования магнием и термической обработки на микроструктуру, параметр решетки твердого раствора, микротвердость и механические свойства сплава АК12.

Ключевые слова: алюминиевые литейные сплавы, силумины, система Al–Si–Mg, термическая обработка, параметр решетки, микроструктура.

V. R. Abalymov, P. A. Udod

THE EFFECT OF ALLOYING WITH MG AND HEAT TREATMENT ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF AK12 ALLOY

In this article we examine the effect of alloying of magnesium and heat treatment on the microstructure, lattice parameter of the solid, microhardness and mechanical properties of AK12 alloy.

Keywords: aluminum casting alloys, silumin, Al–Si–Mg system, heat treatment, lattice parameter, microstructure.

В настоящее время при производстве автомобильных легкосплавных колес используют преимущественно литейные алюминиевые сплавы на основе системы Al–Si. Как известно, для всех литейных сплавов основными являются такие характеристики, как высокая жидкотекучесть, способствующая оптимальному заполнению литейной формы, малая склонность к образованию усадочных и газовых пустот, трещин, раковин. Сплав АК12 имеет наиболее высокие литейные свойства, однако он не относится к термоупрочняемым сплавам и имеет невысокие прочностные свойства [1–3].

Одним из основных легирующих элементов в силуминах является магний. Магний способствует повышению прочности и твердости, но снижает в той или иной степени показатели пластичности силуминов. Влияние магния связано одновременно с изменением нескольких структурных факторов: с увеличением доли магния повышается насыщенность алюминиевого раствора, образуется большее количество дополнительных избыточных фаз кристаллизационного происхождения и

вторичных их выделений, становится грубее структура кремниевой эвтектики [4]. Магний является одним из наиболее распространенных легирующих компонентов вводимых в состав силуминов. Взаимодействуя с кремнием, он образует интерметаллическое соединение Mg_2Si (β -фаза) с высокой микротвердостью [1]. Так же добавки магния дают возможность проводить упрочняющую термическую обработку.

В условиях промышленного производства ООО «ЛМЗ «СКАД» был приготовлен опытный сплав системы Al–Si с содержанием кремния на верхнем пределе ($\sim 11\%$ Si) и содержанием магния $\sim 0,30\%$. Из опытного сплава с применением метода литья под низким давлением был отлит автомобильный диск, который затем был распилен на образцы.

На первом этапе было проведено исследование влияния термической обработки на структуру с помощью рентгеноструктурного метода анализа (рис. 1) и определено изменение параметров кристаллической решетки в зависимости от состояния сплава (табл. 1). Определение параметров кристаллической решетки выполнено на рентгеновском дифрактометре XRD–7000S (Shimadzu) с помощью свободно распространяемого программно-методического обеспечения Conograph [6].

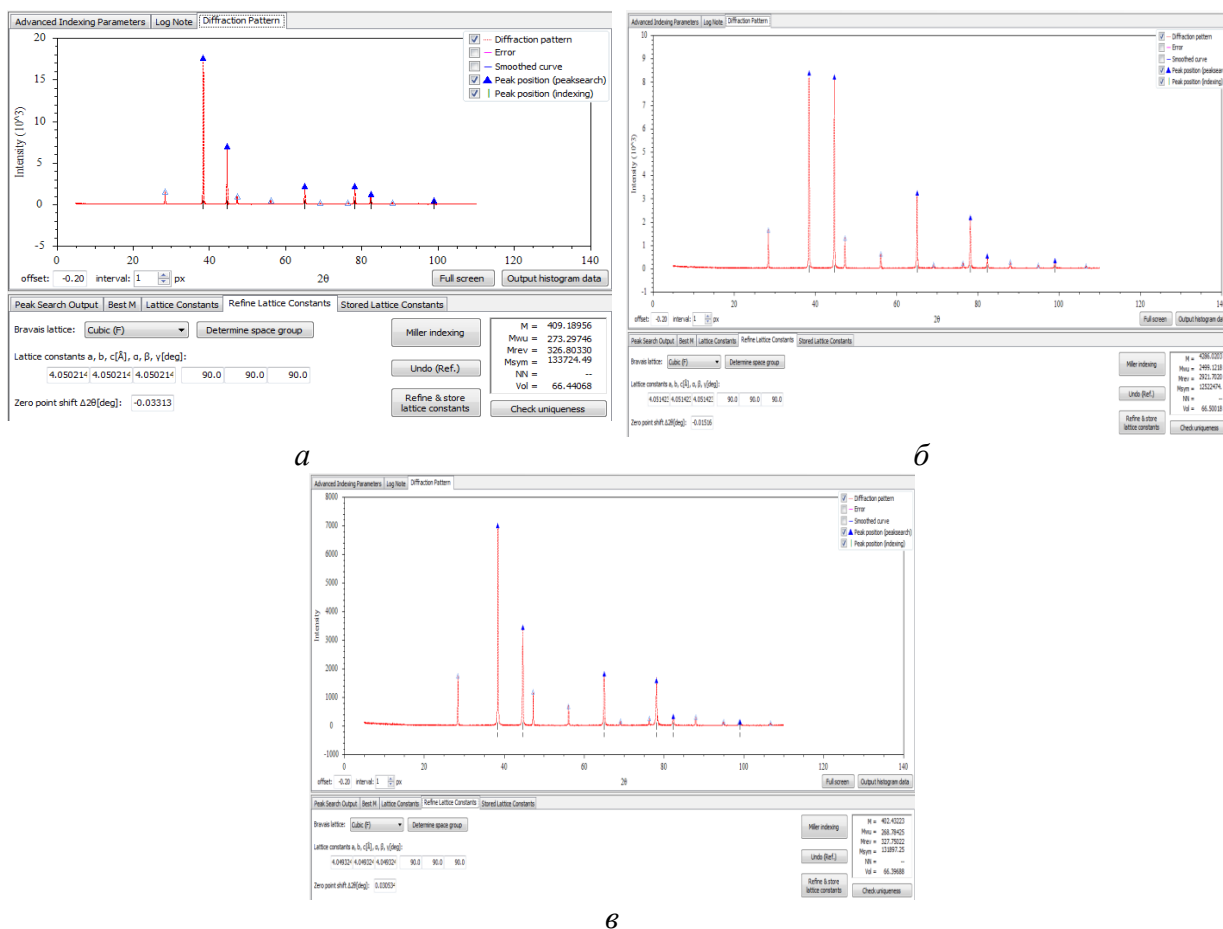


Рис. 1. Рентгеноструктурный анализ опытного сплава в различных состояниях:
a – литое; *б* – закаленное; *в* – закаленное и состаренное

Таблица 1

Параметр решетки твердого раствора опытного сплава в различных состояниях

Состояние	Параметр решетки (a), Å
Литое	4,0502
Закаленное	4,0514
Закаленное и состаренное	4,0493

При закалке происходит растворение фазы Mg_2Si и Si и увеличивается параметр кристаллической решетки алюминиевого твердого раствора до 4,0514. После полного искусственного старения из-за распада твердого раствора с выделением метастабильных фаз β'' и β' параметр решетки α -твердого раствора закономерно уменьшается до 4,0493. Так же известно [7], что в результате полного завершения всех процессов, протекающих при старении, система стремится к восстановлению фазового равновесия, нарушенного операцией закалки. В связи с чем параметр решетки после старения близок к параметру решетки алюминия равному 4,0494 Å, что можно видеть в табл. 1.

Затем исследовали влияние термической обработки на микроструктуру. Оценивали строение эвтектики в литом, закаленном и закаленно-состаренном состояниях (рис. 2, а–в; табл. 2).

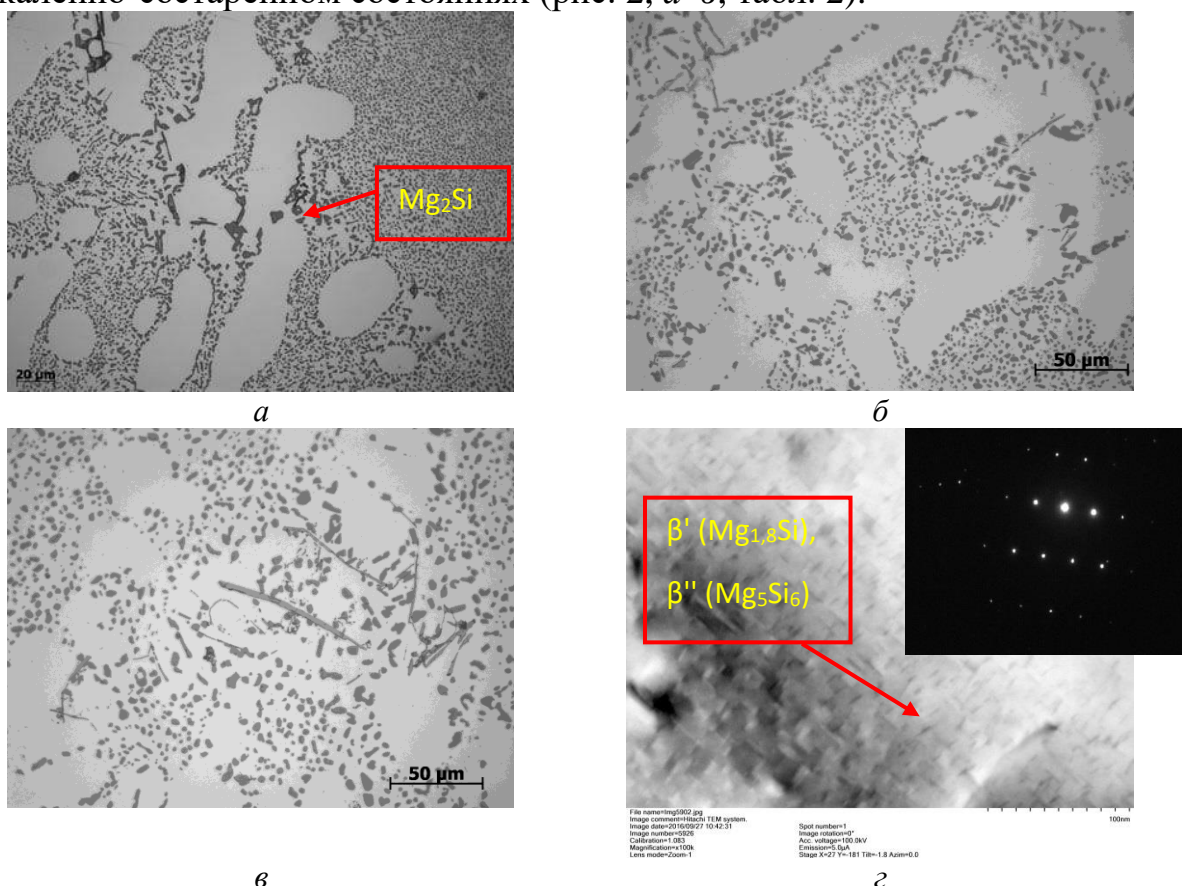


Рис. 2. Структура опытного сплава системы Al–Si–Mg в различных состояниях: а – литое; б – закаленное; в – закаленное и состаренное; г – закаленное и состаренное (ПЭМ с микродифракцией)

Известно [8], что максимальная прочность после старения достигается в результате формирования упрочняющих выделений игольчатой β'' -фазы в сочетании с выделениями речечной β' -фазы, которые были обнаружены с помощью просвечивающей электронной микроскопии (рис. 2, з).

В работе [9] отмечается, что разное время выдержки при старении поразному сказывается на параметре кристаллической решетки, но при этом оптимальное значение микротвердости достигается при выдержке 4–6 часов, время старения образцов в нашем исследовании входило в этот интервал.

Таблица 2

Механические свойства, строение эвтектики и параметр решетки опытного сплава

Состояние	Строение эвтектики		a, Å	Механические свойства			
	S, мкм ²	Парам. сфер		σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	HV, кгс/мм ²
Литое	1,73	0,70	4,0502	193	107	4,3	83
(Т4)	3,46	0,74	4,0514	210	90	12,1	73
(Т6)	4,67	0,76	4,0493	264	173	5,5	113

Следующим шагом было определение зависимостей, между структурой и механическими свойствами опытного сплава в разном состоянии. Результаты корреляционного анализа представлены в табл. 3.

Таблица 3

Корреляционный анализ

Характеристики	S, мкм ²	Парам. сфер	a, Å	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	HV, кгс/мм ²
S, мкм ²	1						
Парам. сфер	1,00	1					
a, Å	-0,33	-0,25	1				
σ_B , МПа	0,92	0,89	-0,67	1			
$\sigma_{0,2}$, МПа	0,68	0,61	-0,92	0,91	1		
δ , %	0,24	0,33	0,83	-0,15	-0,54	1	
HV, кгс/мм ²	0,65	0,58	-0,93	0,89	1,00	-0,58	1

В стандартных сплавах систем Al–Si–Mg и Al–Mg–Si при термической обработке происходят следующие процессы:

- при закалке идет фрагментация, сфероидизация и коагуляция частиц кремния, а также увеличение параметра решетки за счет растворения фазы Mg_2Si и Si ;

- во время старения происходит распад твердого раствора с выделением метастабильных фаз β'' и β' и параметр кристаллической решетки уменьшается. При этом частицы кремния продолжают коагулировать. В итоге возрастают прочностные свойства и микротвердость, а также идет снижение пластичности.

По результатам работы можно сделать выводы:

- доказана возможность термического упрочнения опытного эвтектического силумина и получены механические свойства, не уступающие свойствам стандартного сплава АК7;

- показано, что структурные изменения в опытном сплаве при термической обработке подобны превращениям, протекающим в стандартном доэвтектическом силумине.

ЛИТЕРАТУРА

1. Золоторевский В. С., Белов Н. А. Металловедение литейных алюминиевых сплавов. М.: МИСиС, 2005. 376 с.
2. Белов Н.А., Савченко С.В., Белов В.Д. Атлас микроструктур промышленных силуминов: справ. М.: Изд. Дом МИСиС, 2009. 204 с.
3. Захаров А. М. Промышленные сплавы цветных металлов. Фазовый состав и структурные составляющие. М.: Металлургия, 1980. 256 с.
4. Строганов Г. Б., Ротенберг В. А., Гершман Г. Б. Сплавы алюминия с кремнием. М.: Металлургия, 1977. 272 с.
5. Мондольфо А. Ф. Структура и свойства алюминиевых сплавов: пер. с англ. / под ред. Ф. И. Квалова. Г. Б. Строганова, И. Н. Фриндланда. М. : Металлургия, 1977. 639 с.
6. Oishi-Tomiyasu R. Robust powder auto-indexing using many peaks. J. Appl. Cryst. 47 (2014).
7. Биронт В. С. Теория термической обработки металлов: учебник. Красноярск: ИПК СФУ, 2009. 540 с.
8. Структура, свойства и применение сплавов системы Al–Mg–Si–(Cu) / Н. И. Колобнев, Л. Б. Бер, Л. Б. Хохлатова, Д. К. Рябов // ВИАМ. [Электронный ресурс]. М.; 2011. 16 с.
9. Hayoune A. Thermal Analysis of the Impact of RT Storage Time on the Strengthening of an Al–Mg–Si Alloy // Materials Sciences and Applications. 2012. V. 3. P. 460–466.